

第5章 各施設の特徴と青果物の冷却特性

5.1 はじめに

5.1.1 本章の必要性

2, 3, 4章においてこれまでの納入台数上位3社の機種についてその機器構成や制御方式、そして個々の農協の取扱作物についての冷却特性を調査し、その問題点について個々の機種毎に検討および考察した。これらの調査の結果から機種により構成機器、その能力、制御法が異なることが明かとなった。従って、これらの特徴や得失を比較検討するため、「真空冷却プロセス工程」を全ての機種に共通な操作法に基づき標準的に定義すると共にその制御法の概略を整理し、その特徴を明らかにした。また、これらの制御・操作上の問題点について検討した。さらに、個々の青果物についての冷却特性について検討を試みた。

5.1.2 本調査の特徴

本測定調査は先にも述べたようにデータコレクタと気密カプセルを使用することにより、如何なる施設においても真空冷却中の青果物の温度変化が測定可能になったが、それだけでなく後章で述べる青果物の真空冷却以後の流過程も連続して測定が容易なため真空冷却後における保冷過程およびその後の輸送過程の追跡調査を簡易

に行うことができた。

5.2 構成機器と制御方法

5.2.1 主要諸元

個々の施設における真空冷却施設の構成機器の諸元については既に示したが、これら施設の比較を行うため、これらをまとめて表5.1に示した。真空ポンプの能力について比較する。機種Nを基準に考えると真空槽容積は機種KMが約1.3倍、機種Hはそれぞれ0.96, 0.82倍であるのに対し、真空ポンプの排気能力は粗引工程では機種KMがほぼ同じ位、機種Hは0.75, 0.52倍であり、また、本引工程では機種KMが0.67, 機種Hが0.67, 0.45倍であった。これらの結果から粗引、本引の両工程とも機種Nは他機種に比べて真空ポンプの能力が大きいことを示した。次に冷凍機出力を比較する。やはり同様に機種Nを基準にすると、機種KMは1.34, 機種Hは0.96倍である。真空槽の容積からすると機種Nの冷凍機の能力は機種KMとは同等、機種Hと比べるとかなり小さい。また、機種Nは20.5kwの冷凍機をブラインタンク内のブライン液を冷却するのに使用しており、このブラインで同施設内の保冷库も冷却しているため、真空冷却用としてはこの表示よりさらに能力は小さい。しかも最大収容量時のパレット数で比較すると他機種は機種Nに比べて真空槽容積の割にパレット数が多いためさらにその差は大きくなる。次に、機種Hは機種KMに対し、真空槽容積が0.73に対し、粗引工程の真空ポンプ能力が0.68,

表 5.1 主な構成機器の主要諸元

機 種		KM		H		N
施 設 名		岩井市農協	総和町農協	小山市農協	大田原市農協	上三川町農協
真 空 槽	収 容 量	9 パレット	9 パレット	5 パレット	4 パレット	5 パレット
	容 積	1.9×2.1×9.2 36.7m ³	1.9×2.0×9.5 36.1m ³	1.9×2.1×6.75 26.9m ³	1.75×2.15×6.1 23.0m ³	1.9×2.1×7.0 27.9m ³
真空ポンプ	台 数	3 台	3 台	2 台	2 台	3 台
	出 力	11kw×3	11kw×3	15kw×1 11kw×1	11kw×1 7.5kw×1	11kw×2 5.5kw×1
	排気速度	7,000l/min	7,000l/min	10,500l/min 7,400l/min	7,400l/min 5,000l/min	7,500l/min 3,700l/min
冷 凍 機	出 力	42kw×2	84kw×1	30kw×2	30kw×2	42kw×1 20.5kw×1
	冷却能力	182,000kcal/h	207,000kcal/h	140,000kcal/h	140,000kcal/h	124,000kcal/h 57,000kcal/h

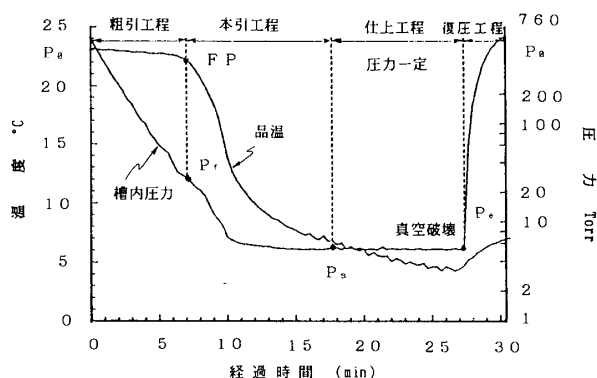


図5.1 真空冷却のプロセス

本引工程が1，冷凍機能力が0.72倍で粗引工程の真空ポンプの能力が機種KMに対し，やや低かった。従って，これらの機種間の構成機器の特徴を述べると機種Nは他機種に比べて真空ポンプの能力を大きく，冷凍機能力がやや小さい。機種KMは冷凍機能力を割と大きく取り，仕上げ時期の真空ポンプの能力を小さくしている。機種Hは粗引工程の真空ポンプの能力が小さく，粗引工程の排気速度が緩やかである。

5.2.2 真空冷却プロセス

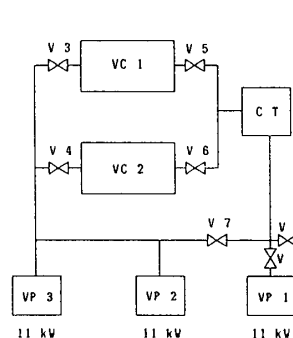
真空冷却プロセスは製造メーカーによって多少異なるが，これらを比較するため真空冷却のプロセスをすべての機種に共通な概念で図5.1に示すように4工程に分けて定義した。

- 1) 粗引工程：排気開始からフラッシュポイントまで ($P_0 \sim P_f$)
- 2) 本引工程：フラッシュポイントから設定圧力まで ($P_f \sim P_s$)
- 3) 仕上工程：設定圧力から最終圧力まで ($P_s \sim P_e$)
- 4) 復圧工程：最終圧力から大気圧まで ($P_e \sim P_0$)

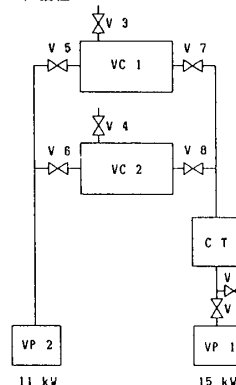
粗引工程では基本的に真空ポンプで真空槽内の空気を排気する工程であり，この段階では水分蒸発量が微少なため真空ポンプの能力が圧力降下速度の律速因子となる。本引工程はコールドトラップを通して排気する工程であり，フラッシュポイント後全圧に占める水蒸気分圧の割合が高くなるため，排気速度はコールドトラップの能力に左右される度合いが大きいと考えられる。仕上工程は青果物の凍結防止をしながら青果物の温度分布の均一化を図る工程であり，槽内圧力は一定に制御される。

青果物の真空冷却プロセスからは以上のような工程分けができるが，排気系の機器構成から工程分けを行うと，一部例外もあるが，コールドトラップを通さず直接真空ポンプだけで排気する工程を粗引工程，その後のコールドトラップを通して排気する工程を本引工程と工程分けすることができる。従ってこの機器の組合せ上の粗

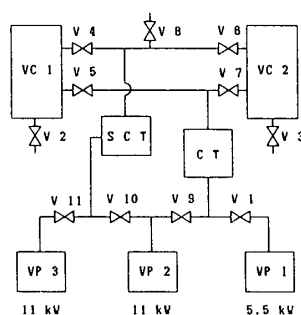
a) 機種KM



b) 機種H



c) 機種N



VC: 真空槽
VP: 真空ポンプ
V: 弁
CT: コールドトラップ
SCT: 小型コールドトラップ

図5.2 機種別排気システムの概略

引工程の終了時点と青果物のフラッシュポイントが一致することが望ましいが，普通は一致しないことが多い。

5.2.3 排気システム

各機種の排気システムを比較して図5.2に示す。ここに示すように，真空冷却装置は通常，真空槽2基，コールドトラップ1～2基，真空ポンプ2～3台から構成されているが，これらの機器構成と排気系の制御法は機種・工程によって異なる。前節で述べたように基本的には粗引工程はコールドトラップ(CT)を通さず直接真空ポンプで排気する。機種KM，Hはこの方式を採用するが，機種Nは粗引工程時にも小型の補助コールドトラップ(SCT)を通して排気し，大気中の水分を凝縮除去し，真空ポンプへの水分混入を避けるようにしている。また，機種Hは粗引，本引工程専用の真空ポンプを持ち，それぞれの工程を担当し，個々の真空ポンプは稼働時以外は停止する。機種KM，Nは3台の真空ポンプがそれぞれの工程に適当に振り分けながら有効に利用し，連続運転を可能にしている。この場合，真空ポンプは運転稼働時以外もスイッチはオンのままで，引口弁の開閉のみによって排気の動停止を行っている。

5.2.4 制御方法

表5.2に各機種の制御法をまとめた。各工程はタイムおよび槽内圧力の到達圧力を設定することによって決められる。半固定としたのは始業点検時にメーカーが設定

表 5.2 機種別の制御法

機 種		KM	H	N
工 程	設定法および 設 定 者	タ イ マ (メーカ) (半 固 定) 7.5, 10分	圧 力 計 (メーカ) (半 固 定) 36~37, 39~40Torr	圧 力 計 (作業員) (任意設定)
	排 気 系	VC1→VP2+VP3	VC1→VP2	VC1→SCT→VP2+VP3
本 引	設定法および 設 定 者	圧 力 計 (作業員) a 区間, b 区間に分ける (任意設定)	圧 力 計 (作業員) (任意設定)	タイマおよび 圧 力 計 (最終圧力) (作業員, 任意設定)
	排 気 系	a 区間: VC1→CT→ VP1+VP2+VP3 b 区間: VC1→CT→VP1 (VC2→VP2+VP3) 粗引工程	VC1→CT→VP1 (VC2→VP2) 粗引工程	VC1→CT→VP1+VP2 (VC2→SCT→VP3) 粗引工程
仕 上	設定法および 設 定 者	タイマおよび圧力計 (最終圧力) (作業員, 任意設定)	タイマおよび圧力計 (最終圧力の上限, 下限の2点) (作業員, 任意設定)	タイマ, 圧力計共 本引工程で設定 引口弁 V1 と真空制御弁 V2 の開閉
	排 気 系	VC1→CT→VP1 V1, V2 の開閉 引口弁の開閉および 外気導入	VC1→CT→VP1 V1, V2 の開閉 外気導入および VP1 の ON-OFF	VC1→CT→VP1+VP2 引口弁 V1 と真空制御弁 V2 の開閉
復 圧	真空破壊所要 時間	大気導入 (約 1 分)	大気導入 (約 3 分)	大気導入 (約 3 分)

し、ほとんど作業員によって変更されることが無いことを示す。VCは真空槽、VPは真空ポンプ、CTはコールドトラップ、SCTは小型の補助コールドトラップを示す。各機種の特徴を挙げると機種KMは本引工程をa区間とb区間に分け、真空ポンプの台数をa区間は3台、b区間は1台にし、フラッシュポイント近辺の圧力では粗引、本引両工程に対処し、これら両工程切り替えを細やかに変更すること無しに初期品温の変化に対応できる。また本引工程後半の大きな排気能力を必要としない時期すなわちb区間では残りの2台の真空ポンプを他槽の粗引工程に当てて能率を計っている。機種Nは本引工程の終了を時間設定で決め、その間に設定圧力に到達すると引口弁の開閉で一定圧力を制御するため、本引と仕上工程の区別ははっきりしないが、最終設定圧力に到達し、引口弁の開閉を開始する時点以降は他の機種に対応させたときには仕上げ工程と考えるべきである。

5.2.5 制御法の特徴と冷却特性

表 5.3 に機種別の冷却条件、図 5.3~5.5 はレタスを主品目とし、これにサニーレタスやブロッコリを加え1パッチとし、真空槽が満杯の状態で運転した場合のレタス

表 5.3 真空冷却時の冷却条件

機 種	KM	H	N
測 定 年 月 日	90.10.18	90.10.25	90.10.22
対 象 品 目	540 ケース レタス 420 ケース サニー 120 ケース	300 ケース レタス 240 ケース サニー 60 ケース	400 ケース レタス 220 ケース ブロッコリ 180 ケース
冷却標準重量	3,900kg	2,160kg	2,120kg
粗 引 設 定	タイマ 10min	圧力計 37Torr	圧力計 24Torr
本 引 設 定	圧力計 22Torr 5Torr	圧力計 7Torr	タイマ 15min, 圧力計 5Torr
仕 上 設 定	0.8min	1.3min	
初 期 品 温	21.5℃	18.5℃	19.0℃
最 終 品 温			
葉	5.0℃	5.5℃	5.5℃
軸 芯	7.5℃	7.0℃	8.5℃
冷却所要時間	27.6min	29min	26min

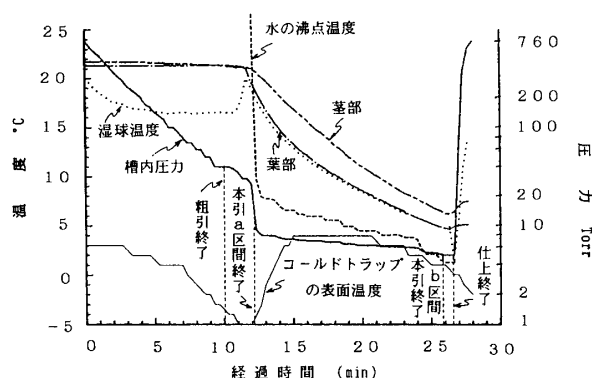


図5. 3 真空冷却プロセスとレタスの冷却特性
(機種KM)

の冷却特性を示したものである。

(a) 機種KMの冷却特性

本機種によるレタスの冷却特性を図5.3に示す。前にも述べたように、本機種の制御法の特徴は本引工程を2つの区間(図中のaおよびb区間)に分けて排気系の機器構成を変えていることにある。粗引工程はタイマで10minに設定され、この区間の到達圧力は約40Torrであるが、品温(葉部、茎部)の変化はほとんど観られない。表5.3に示したように本引工程のa、b区間の終了点はそれぞれの区間の到達圧力(22および5Torr)で設定され、排気開始後の経過時間はそれぞれ12.2minおよび26minであった。経過時間11~12minで、すなわちa区間内で、品温の急激な降下、湿球温度とコールドトラップ表面温度の上昇が始まっていることからこの時点がフラッシュポイントと推察された。本引工程はフラッシュポイント以降約14minで終了し、これに続く仕上工程は約45secであった。この間葉部は指数関数的な降下を示し、初期品温21.5℃から5℃まで冷却された。復圧工程は約1minで他の機種に比べて大変短く、この間に品温上昇は(茎)で約1℃であった。

(b) 機種Hの冷却特性

本機種の特徴は能力の異なる2台のポンプ(表5.1参照)を粗引および本引専用に分けて使用し、両工程を圧力計による到達圧力で制御していることにある。この機種によるレタスの冷却特性を図5.4に示す。粗引工程は真空槽内が設定圧力(37Torr)に到達した時点で終了し、その所要時間は約8.73minであった。本引工程の終了時の圧力設定は7Torrで、この圧力は仕上工程の下限設定圧力でもある。本引および仕上工程の所要時間はそれぞれ15.7min、1.3minであった。フラッシュポイントは本引工程開始後5.3minで起こり、これ以後仕上工程終了時まで18.5℃から5℃まで降下した。この後約3分間の復圧工程で葉部で0.5℃の温度戻りが観られた。

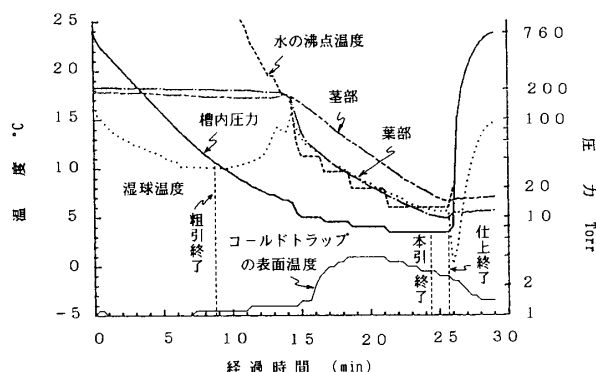


図5. 4 真空冷却プロセスとレタスの冷却特性
(機種H)

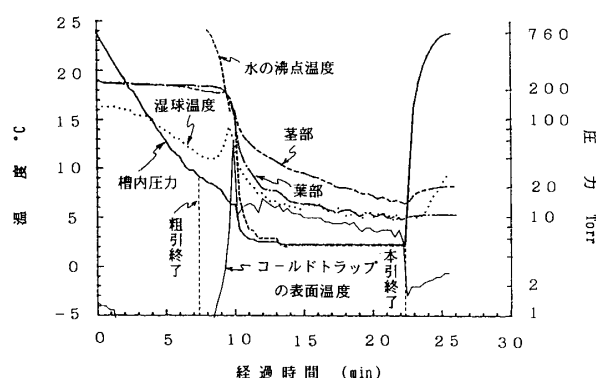


図5. 5 真空冷却プロセスとレタスの冷却特性
(機種N)

(c) 機種Nの冷却特性

本機種では粗引工程にも小型のコールドトラップを使用し、真空ポンプの水分混入を極力避けるようにしている。また本引工程と仕上工程を区別せず、圧力計で真空槽内最低圧力を設定すると共に本引から復圧開始までの時間をタイマで設定している。従って、このメーカーでは本引・仕上両工程を併せて冷却工程と呼んでいる。図5.5に本機種で得られたレタスの冷却特性を示す。粗引工程は圧力計で任意設定(24Torr)され、その所要時間は約7.3minであった。本引工程開始から約7minで最終圧力(5Torr)に到達し、その後この工程の設定時間(15min)まで、すなわち、約8minの間この圧力が維持された。この期間が他機種の仕上工程に相当する。フラッシュポイントは本引開始後約1.7minの時点と推定され、これ以後葉部温度は19℃から5.5℃まで冷却された。この後約3minで復圧されるがこの間に茎部で約1.5℃の温度もどりが観られた。

5.3 制御・操作法の問題点

先に真空槽内の圧力変化および青果物の冷却特性に基づき、真空冷却プロセスを4工程に区分して定義した。

青果物を目標の最終温度まで効率よく冷却するためには、ここで定義した各工程の冷却プロセスに果たす役割と制御因子を把握し、冷却時間の短縮を促進するための合理的な制御並びに操作法を確立する必要がある。しかし本調査の結果より真空冷却装置の排気系における機器構成と制御法が機種・操作法により異なり、これらの中に今後改善すべき問題点も残されていることが分かった。以下にこれらの問題点と改善法の指針を項目別に列挙する。

5.3.1 粗引と本引工程の切り替え時期

この切り替え時期はフラッシュポイントの直前であることが望ましく、このポイントは青果物の初期品温、さらに正確には付着水分の温度と真空槽内圧力に依存して変動する。粗引工程の排気速度は排気系の機器構成によりほぼ決定されるので青果物の初期品温がフラッシュポイントの時期を左右し、工程の切り替え時期の制御因子となる。しかし、表 5.2 に示したように実際の粗引工程終了点はタイマ（機種 KM）、圧力計（機種 N、H）で半固定的に設定され、任意設定が可能な場合（機種 N）でも作業員により変更されることは少ない実状にある。さらにこれらの設定は水蒸気の真空ポンプへの混入を避けるため、安全側にセットされている。これの典型的例として機種 H の導入されている 2 施設について対象品目に関係なくそれらの初期品温に対して粗引終了時からフラッシュポイントまでの経過時間をプロットした結果を既に第 3 章で図 3.14 に示した。この図に示すように経過時間は初期品温が低く、設定圧力が高い場合（大田原市農協）に増大し、さらに粗引排気系に代わり、能力の低い本引排気系が用いられるので（表 5.1 参照）排気効率の低下を招いている。また、通常 2 つの真空槽で併行運転を行うが、1 つの真空槽の粗引工程が終了しても他槽の本引・仕上工程が終了するまで排気系の切り替えが不可能で、この待ち時間の増大が連続運転効率の低下を招く場合もあった。機種 KM では粗引時間をタイマで固定しているが、本引工程を a、b の両区間に分けてフラッシュが起こる a 区間の排気能力が最大となるような機器構成を採っている。これは粗引工程の時間固定による欠点を本引工程、特にフラッシュポイント時の排気能力を強化することで補っているものと考えられる。何れにせよ理想的には青果物の初期品温と真空冷却装置の粗引排気能力などからフラッシュポイントを予測、または検出し、粗引から本引工程への切り替えを自動的に行う制御法の確立が望ましい。

5.3.2 真空ポンプとコールドトラップの適正能力

図 5.2 の (C) に示すように機種 N では真空槽 (VC1)

の粗引工程は 11kw の真空ポンプ 2 台、本引工程は 5.5 kw、11kw の 2 台の真空ポンプ (VP1 と 2) で排気している。この本引工程中に他の真空槽 (VC2) の粗引を同時併行して行う場合、残りの真空ポンプ (VP3; 11kw) 一台をこれに当てている。図 5.5 に示したように、真空槽内圧力は排気開始から 12min ではほぼ最終設定圧力に到達し、その後は真空ポンプ 2 台を稼働させながら引口弁の開閉によって一定値に維持されている。しかし、仕上工程は引口弁の開閉が頻繁に行われ一定圧を保持しており、1 台の真空ポンプの排気能力で十分と考えられ、他の 1 台を VC2 の粗引に充当し、粗引工程の効率化を図ることが可能と思われる。このように、2 槽の連続運転を円滑・効率的に行うためには各工程に於ける真空ポンプの適正能力や組合せ台数を合理的に決め、改善を計る必要があると考えられた。図 5.3～5.5 に示したように全ての機種について通常フラッシュポイント以降コールドトラップの表面温度が高くなり、青果物の品温と湿球温度がこの温度以下に降下することはなかった。コールドトラップでの温度上昇傾向は機種 N について著しく、槽内圧力が低く維持されているにもかかわらず冷却効果が得られなかった。これは表 5.1 に示したように機種 N では 2 台の冷凍機を装備しているが、この内 1 台は施設内に設置されている保冷库のブライン冷却用にも使用されており、他機種に比べて冷凍能力が小さいと考えられた。このようにフラッシュポイント以後の青果物品温はコールドトラップの表面温度以下に降下することはなく、冷凍能力が不足してコールドトラップの表面温度の上昇が著しい機種では冷却効果が得られず、これの適正な負荷計算が設計上の問題点として残されているものと考えられた。

5.3.3 制御因子としての槽内圧力

表 5.2 にも示したように真空冷却プロセスは基本的に槽内圧力に基づいて操作・制御されている現状にある。この理由は真空冷却プロセスの進行速度が遅く、準定常状態と見なせる場合には純水の温度と飽和水蒸気圧の準平衡関係が成立するものと仮定し、この仮定に基づいて槽内圧力から青果物の温度をほぼ予測できると考えられているためである。この仮定がほぼ成立する機種 H の場合、また機種 M で包装容器に発泡スチロール箱を使用した場合には槽内圧力から求めた水の沸点温度と青果物の品温とがほぼ一致している（図 5.4、図 4.12）。しかし、図 5.3 および図 5.5 に観られるように、フラッシュポイント以後の圧力降下速度が速い機種 KM と N では、両者間にかかなりの差があることが分かった。また、図 5.6 に示すように真空破壊時の青果物の温度と水の沸点温度と

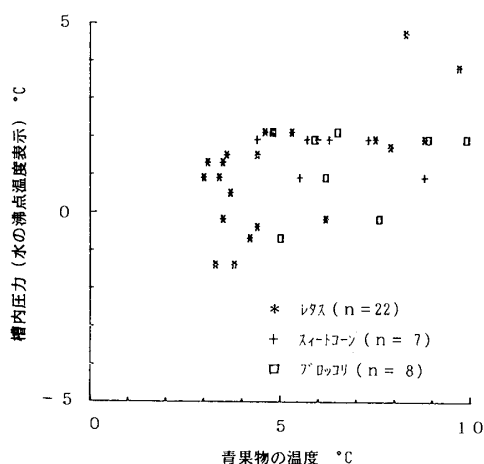


図 5. 6 最終圧力（真空破壊時）における青果物の品温とその圧力に対する水の沸点温度（上三川町農協）

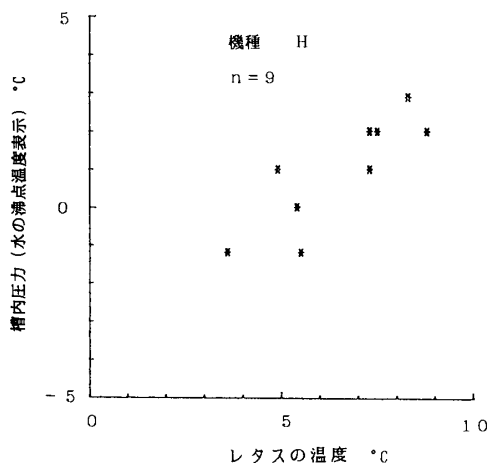


図 5. 7 最終圧力（真空破壊時）における青果物の品温とその圧力に対する水の沸点温度（小山市，大田原市農協）

の間にも差が観られた。このように実用装置では冷却工程全てに渡って槽内圧力から青果物の品温変化を予測することが困難であることが分かった。これは現実には真空槽内の全圧が水蒸気と空気の分圧で構成され、さらにプロセスの進行速度が速い場合には準定常および平衡条件という前提が成り立たないためであり、この方法に基づく制御法にも限界があるものと考えられた。これに対し、何れの機種でもフラッシュポイント以後の湿球温度はレタス葉部の温度とほぼ一致するため、粗引工程以後の制御因子に湿球温度を採るのも一つの方法とも考えられ、今後、基礎実験によりこの方法の有効性を確認する必要があると思われる。

5.3.4 最終圧力の設定と冷却効果

機種Nにおいて最終圧力を 4.5Torr と 6Torr に設定したときのレタスの葉部と茎部の冷却特性を図 5.8 に示

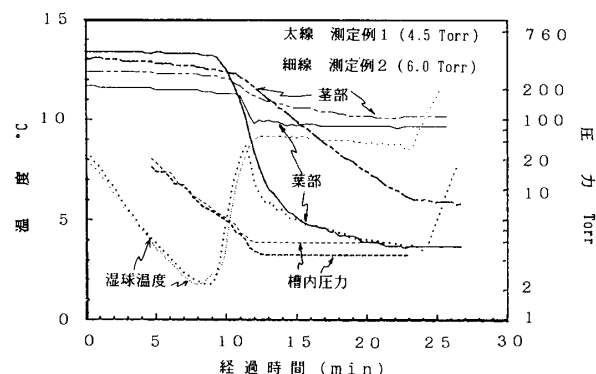


図 5. 8 最終圧力の相違による冷却特性

す。この図に示されるようにレタスの初期品温は11.5～13℃であり、両者共排気開始から 10～11min 経過するとフラッシュが始まるが、後者ではそれから約 10min 後に槽内圧力が設定値に達したため、排気開始から 15 min 経過以降はほとんど冷却効果が観られず、最終品温は約10℃であった。一方、前者では排気開始から約13 min 経過すると設定圧力の 4.5Torr に到達し、葉部で 4℃、茎部でも 6℃以下に冷却された。このようにこの施設に於いては最終圧力をその青果物の冷却目標温度に対する飽和蒸気圧よりもかなり低い値に設定しないと、その温度まで冷却されないことが示された。特に春期において、初期品温が低い場合、この凍結を防止する意図で最終圧力を変更して高く設定したため、僅かの冷却効果しか得られず、全く冷却されなかったり、ときには復圧工程でかえって品温上昇が観られることさえあった。このことは作業員が真空冷却の原理を理解していないことから生ずる人為的な操作法上の問題点であり、調査した多くの施設でこの様な誤操作が行われている現状にあった。気温の低い時期には真空槽の内壁からの放射熱の影響が少ないとも考えられるが、この点についてはコールドトラップの表面温度を僅かに高める程度でよく、気温の高低で最終圧力の設定を変更する必要はないと考える。

5.3.5 処理量の大小と冷却むら

機種Nでスティートコーン529ケース（満杯時の約88%）と 223 ケース（37%）を冷却した場合の包葉と種実の冷却効果を比較して第2章で図 2.7 に示した。両者について包葉と種実間の温度差をそれぞれ比較すると、排気開始から約 11min では 8℃、と13℃、真空破壊時では2.1℃と 4.1℃であった。このように冷却負荷が小さい場合には包葉のように冷却され易い部位の冷却効果が他の部位に比べて大きくなり、結果として冷却むらが大きくなる傾向が観られた。このような傾向は全ての施設において、また多くの品目について観察された。従って処理量

が小さい場合には仕上工程を比較的長時間に設定して冷却むらの解消に努める必要があると考えられた。

5.4 青果物の冷却特性と冷却法

5.4.1 スイートコーン

スイートコーンは平成2年度の農水省の調査によれば取扱いの最も多い品目にランク付られているが我が調査対象農協内では取り扱っていたのは上三川町農協だけである。包葉の部分は大変よく冷却されるため、冷えにくい種実とは真空破壊時直前にかなり温度差が観られる(図2.4)が、復圧時に於ける温度戻りも大きく、冷却終了時にむしろ他の部位より高い温度を示すことさえある(図2.5)。このように包葉は温度および圧力の変化に敏感であると言える。従って代表温度としては種実の温度で判断すれば良いことになるのであろうが、実際測定時に種実の温度を測定することは困難であると共に種実間にも温度むらがあると観られる。そこで包葉と同じ様な特性を示す湿球温度を基準に判断し、その後の仕上げ時間を冷え易い葉菜類に比べて長くすると良い。種実の部位は真空破壊後も温度が下がり続けることが多い。これは水分蒸発によって冷却されるだけでなく、かなりの割合で包葉や芯のような種実より冷却されている部分からの熱伝達によって冷却されていることを示している。このような観点からすれば種実以外の部分がよく冷却されることも必要となる。従って、この品目は真空破壊時に冷却むらがある割には温度むらの心配はないが、仕上げ工程時間をある程度必要とする。この時間については施設によって異なる。

5.4.2 レタス

レタスは全国的にも最も予冷出荷量の多い品目にランク付られている。本調査でもこれは全ての施設で取扱われ、しかも主品目であるため処理量も最も多かった。レタスの葉部はほとんど湿球の温度と同じ位まで冷え、部位による温度差も少ない。茎部は葉部に比べると3~4℃位高いものもあったが(表2.1, 表3.5, 表3.6, 表4.4), 全体に占める割合は葉部に比べて少ないので湿球温度を基準にして冷却の程度を測っても全く差し支えないと考えられる。レタスについては満杯時に5℃まで冷却するための所要時間は図5.3, 図5.4, 図5.5に示したようにほぼ25min前後であった。

5.4.3 サニーレタス

サニーレタスは先の調査では出荷量が4番目に多い品目であるが、本調査では先に示したようにどの農協も取扱品目に入っていないが、少量であった。葉部はレタスの冷却特性と余り差はないが、図4.10に示すように根元

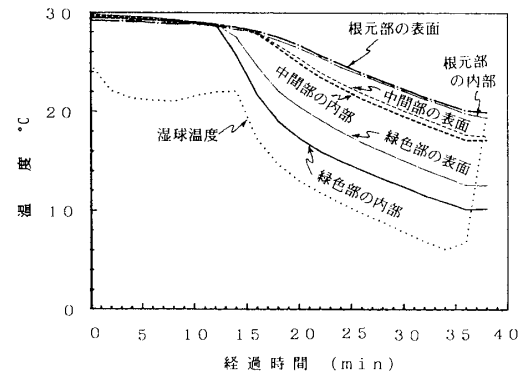


図5.9 長ネギの冷却特性(岩井市農協)

付近の基部はレタスに比べるとやや肉厚であり、レタスのようには冷却されず、ハクサイほどではないが、むしろハクサイの基部に近い特性を示し、やや冷え難い。従ってサニーレタス単独で冷却する場合はレタスに比べて多少仕上げ時間を長くすると根元まで良く冷えると思われる。

5.4.4 シイタケ

シイタケの真空冷却を行っている農協はは大変少ないと思われる。その理由は夏シイタケの生産量はそれほど多くないこと、シイタケ生産農家は一般的に自家用小型冷蔵庫を所有し、収穫後直ちに冷却することができることによるとみられる。シイタケは最も冷却されやすく、フラッシュポイント以後は湿球の温度変化とほとんど同じ特性を示し、部位による温度差はほんの僅か柄の方が高いこともある(図3.9)が、一般にはほとんど温度差は認められない。従って湿球温度を目安に真空冷却を行うことができる。しかし、またシイタケは個々が小さくその熱容量が小さいために温まり易いと言う特性を持つ品目であり、冷却後の温度戻りも環境条件によっては非常に大きい。シイタケは呼吸速度が大きく温度が上昇すると呼吸量が増大し、鮮度の急激な低下につながるため、真空冷却後の取扱には十分注意が必要である。

5.4.5 長ネギ

長ネギは冷却終了時に部位による冷却むらが大変大きく、図2.23にも示したように緑色部と根元の白色部は10℃近い温度差があった。この事例は10月で初期品温が20℃以下であるが、図5.9は岩井市農協で真夏(7月)に真空予冷した事例で、約35分冷却している。この事例においても先端の緑色部は表面と内部では温度差があり、内部は良く冷却されるが、中間部から根元にかけては表面と内部に温度差が余り観られない。そして緑色部は初期品温からは約20℃低下し、10℃まで冷却されたが、根

元は20℃まで冷却されただけであった。最も冷えた長ネギは緑色部、根元の白色部はそれぞれ6℃、16℃であった。このように良く冷える緑色部と根元の白色部では10℃近い温度差があり、軸方向に対する冷却むらが大きい。そして、白色部の根元付近では軸心に垂直な断面の半径方向における冷却むらはほとんどなかった。従って長ネギは圧力の抜ける方向は軸に平行な方向でしかも緑色の先の方へ抜け、ほとんど、根元の方からは抜けないと考えられる。長ネギはこのように冷却むらが大きく、やや冷却時間を長く必要とする。岩井市の事例のように長ネギのみで冷却する場合は冷却時間を長めに調整できるが、上三川町のようにレタスなどと共に冷却する場合は長ネギに対しては冷却時間が10～15分不足と見られる。

5.4.6 ブロッコリ

ブロッコリは取扱の多い品目の第3位であり、本調査でも5農協施設の内3農協が取り扱っていた。関東地方では秋期(10～11月)に出荷される品目である。ブロッコリの測定はこの時期に上三川町と総和町の農協で行った。また、長野県南牧村において夏期に測定した。外包材は上三川町がダンボール箱、総和町および南牧村は発泡スチロール箱である。初期品温については表2.3、表4.8、表5.3に示すように花蕾の方が茎に比べて1～2℃高い。真空冷却によって花蕾の部分は湿球温度に近い変化をし、真空破壊時においても湿球温度と同じ位まで冷却される場合が多い。しかし、茎部は20～30分の冷却では15～20℃位にしか冷却されなかった(表2.3、表5.3)。そして、茎部は茎の太さなど個体差や茎の部位により温度むらが非常に大きく、時にはほとんど冷却されない部分もあった。しかし、総和町のように最終圧力の設定を4～5Torrと低くして長い時間真空冷却すると茎部もかなり冷却される。表4.8によれば槽内圧力が5Torrまで冷却するのに50分要し、茎部も5℃前後まで冷却されることが分かる。従って時間をかければ目標温度まで確実に冷却できる品目である。ブロッコリは事情が許すならば他の品目とは一緒に冷却しないで、単独で他の品目の2倍位の時間を費やすと良い。また、発泡スチロールとダンボールの箱による冷却特性の相違は花蕾の冷却特性を観る限りほとんど差異はないとみて良い。初期品温は花蕾の方が高いことから花蕾の部分の呼吸量が大いだと推定されるため、花蕾の部分の冷却が十分行われることが必要である。また、冷却むらの非常に大きな品目でもある。またブロッコリは高温に置くとたちまち黄変し、呼吸熱で温度上昇するため十分冷却しなければいけないので、処理量によっても多少異なるが、最低40～50分の冷

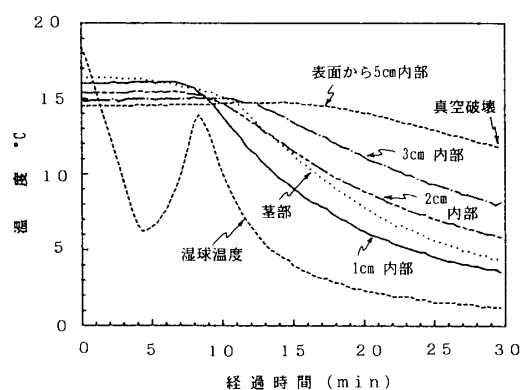


図5.10 キャベツの冷却特性

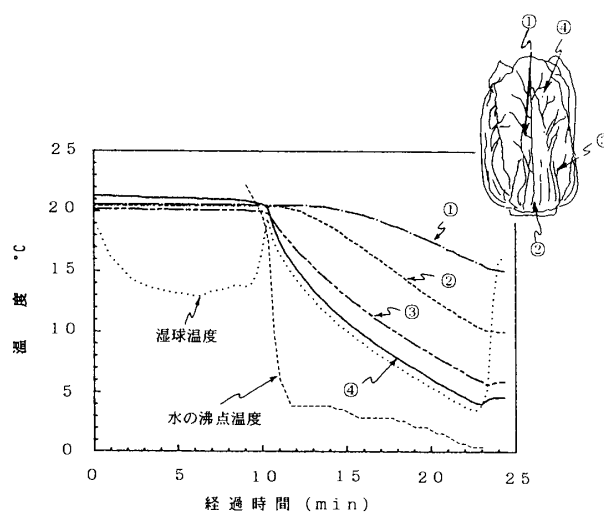


図5.11 ハクサイの冷却特性

却が望まれる。

5.4.7 グリーンボールおよびキャベツ

グリーンボールの葉部はレタスに比べるとやや冷えにくく、23分位の冷却で2℃高かった(図4.7)。表面近くの葉部と中心近くの葉部及び基部とは冷却時間が短いと5～7℃の温度差が生じる(表4.7)。しかし、表4.7の事例3は5分程冷却時間が長いので温度むらは少ない。また、図5.10は実験室でキャベツを真空冷却した事例である。これは10月下旬に行ったため、収穫直後には中心部より外部の表層の温度が高い。そして、真空冷却後にはこのようにキャベツは表層から中心部に行くほど冷却されにくくなり、よく冷える表層の部位でも湿球温度より2℃以上高かった。従ってこれらの品目も湿球温度を目安にした場合には仕上げ時間を長めにする必要がある。しかし、これらの品目は葉の巻具合が温度むらの大小を決定する大きな要因となるため、これらの判断は収穫期、産地によって中心付近(表層部は冷却条件の影響を受け易いので好ましくない)の温度と湿球温度のサンプル測定によって行うべきである。また、キャベツはレタスに次いで予冷出荷量の多い品目である。しか

し、非予冷品を加えた合計出荷量では遙かにレタスを上回り、レタスの1.77倍であった。

5.4.8 ハクサイ

ハクサイはレタス、キャベツに次いで予冷出荷量の多い品目である。図5.11はハクサイの冷却例である。葉部は大変良く冷却されるが、中心は5℃位温度が低下した程度で葉部とは10℃以上の差があった。また根元に近い部分は肉厚である上に物によってはかなり締まっているため非常に冷え難く切口近辺よりもかなり温度が高い。このようにハクサイも冷却むらが大きな品目である。

5.5 まとめ

現在我が国で稼動している実用規模の真空冷却装置を対象として、その機器構成、稼動状況、特に自動制御法、対象品目の冷却特性および操作上の問題点について実態調査を行った。また性能を比較するための基準として「標準的真空冷却プロセス工程」を定義し、これを尺度として各機種別の工程別自動制御および操作法の特徴を把握して、それらの問題点を指摘すると共に、今後の改善法について幾つかの指針を示した。これらの結果を以下に要約する。

- 1) 調査対象とした実用規模の真空冷却装置は真空槽2基、コールドトラップ1～2基および真空ポンプ2～3台より構成されているが、これらの機器構成と排気系の制御法は表5.1と表5.2に示すように機種や工程によって異なる。
- 2) 各機種の制御法を比較検討するために、真空冷却プロセスをa)粗引、b)本引、c)仕上およびd)復圧の4工程に分けて定義し(図5.1)、これに基づく工程的排気法と制御法を機種別に類別して表5.2に示した。
- 3) 各機種の真空冷却時の冷却条件(表5.3)とこれに対応するレタスの冷却特性を図3～5に示した。
- 4) 性能・制御法および排気上の改善指針として、(a)青果物の初期品温と粗引工程の排気能力からフラッシュポイントを予測して粗引から本引工程への切り替えを自動的に行う制御法の確立、(b)コールドトラップの冷凍負荷および(c)真空ポンプの能力と2槽併行排気時の組合せの適正化、(d)冷却負荷変動に対処した品温むらの解消などを指摘した。
- 5) 冷却プロセスは基本的に槽内圧力に基づいて操作・制御されているのが現状であるが、この方法は青果物の冷却状態をモニタする方法としては必ずしも適当ではない。これに代わりフラッシュポイント以後の品温モニタ因子として湿球温度を採用する可能性を指摘し

た。

6) 青果物の冷却特性と冷却の概略を示した。

表 5.4 最終圧力とその時点での青果物の冷却温度
(総和町農協)

測定例 No.	真空破壊 直前の最 終圧力 (Torr)	真空破壊時℃		冷却 時間 (min)	作 物 名
		高温部	低温部		
1	4.1	0.2	-1.0	124.0	ブ ロ ッ コ リ
2-1	5.0	7.4	2.3	59.7	ブ ロ ッ コ リ
2-2	同上	5.8	1.4	同上	ハ ク サ イ
3	4.1	3.2	2.5	32.0	レ タ ス
4-1	4.5	10.6	7.6	23.8	グ リ ー ン ボ ー ル
4-2	同上	9.0	4.9	同上	サ ニ ー レ タ ス
5-1	4.4	10.5	5.0	30.6	ハ ク サ イ
5-2	同上	6.8	4.7	同上	レ タ ス
6-1	4.4	12.8	4.8	32.2	キ ャ ベ ツ
6-2	同上	5.4	3.8	同上	ハ ク サ イ

第6章 熱画像による青果物の温度分布の測定

6.1 はじめに

これまでの章で現場の実用機において、真空冷却中の青果物の温度変化を連続計測し、種々の青果物の各部位の冷却特性をほぼ把握できた。しかし、これら熱電対による温度測定は冷却むらの大きな青果物の主要な部位の温度差の概略を知ることには出来るが、産物の内部の温度分布を連続的な温度変化として捉えることは不可能である。一方、熱画像によって正確な温度を測定するためには材質、品物の色などにより較正が必要であること、凹凸によって赤外線エネルギーに誤差がでることからその正確な温度測定は困難であること、非破壊では青果物の内部の温度測定が不可能であることなど不都合もある。しかし、真空冷却直後の青果物を切断して、その切断面の熱画像を測定すれば、真空冷却終了直後の青果物の内部の連続的な温度分布の状況を把握できる。また予備計測によって温度差の生ずるとみられた部位に熱電対を挿入して真空冷却中の冷却特性を併せて測定し、比較すれば大いに有効である。そこで、真空冷却中の青果物の温度変化を熱電対で測定した上で、真空冷却終了後、直ちに青果物を切断してその温度分布を熱画像によって測定し、それらの結果について検討した。

6.2 測定装置と測定方法

6.2.1 測定装置